

**КОМБАЕВ КУАТ КУРГАНОВИЧ**

**Разработка технологии электролитно-плазменной обработки деталей  
бурового инструмента**

05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической  
обработки

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Республика Казахстан  
Алматы, 2010

Диссертационная работа выполнена в Республиканском государственном казенном предприятии «Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева»

Научные руководители: доктор технических наук, профессор Смагулов Д.У.

Научный консультант: кандидат физико-математических наук, доцент Кылышканов М.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук Муслимов А.П.

кандидат технических наук Абсадыков Б.Н.

Ведущая организация Карагандинский государственный технический университет

Защита состоится 29 октября 2010 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании Диссертационного совета Д 14.17.02 при Казахском национальном техническом университете им. К.И. Сатпаева по адресу: 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева 22, Институт машиностроения ИМС 304.

E-mail: [aspirantura@ntu.kz](mailto:aspirantura@ntu.kz) Факс: 8(727)2926025, т. 2577183 (083).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева.

Автореферат разослан «27» сентября 2010 года.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д 14.17.02  
доктор технических наук



Б.Т. Сазамбаева

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Общая характеристика работы.** Диссертация посвящена разработке технологии термоциклической электролитно-плазменной обработки деталей подшипникового узла бурового долота из низколегированных сталей.

С использованием теоретических и современных экспериментальных методов металлографического, растрового электронно-микроскопического и рентгеноструктурного анализов, а также методов исследования механических свойств и износостойкости, изучено целенаправленное изменение структуры и свойств тонких поверхностных слоев деталей под внешним физическим воздействием ионов высокотемпературной плазмы и электрического разряда при циклической электролитно-плазменной обработке. Показана принципиальная возможность поверхностного легирования и модифицирования при электролитно-плазменной обработке деталей.

Определены оптимальные режимы электролитно-плазменной обработки деталей. Предложен к внедрению энергосберегающий и экологически чистый технологический процесс изготовления деталей подшипникового узла бурового долота с электролитно-плазменным упрочнением.

Спроектирована и изготовлена опытно-лабораторная установка для электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота из стали 18ХНЗМА-Ш. Составлено технико-экономическое обоснование эффективности внедрения нового технологического процесса в производство АО «Востокмашзавод».

**Актуальность исследований.** Научные исследования, направленные на разработку высокоэффективной технологии производства новых материалов из отечественного сырья, а также технологии получения и обработки готовых изделий из них являются актуальной проблемой инновационно-индустриального развития Республики Казахстан.

Уточнение теоретических аспектов легирования, модифицирования и термической обработки поверхностных слоев изделий, а также изучение их структуры и свойств позволяют решить актуальную задачу создания новых, высокоэффективных технологических процессов получения упрочняющих и защитных покрытий, повышающие надежность и долговечность работы машин и механизмов.

Повышение требований к качеству деталей машин стимулирует создание новых методов целенаправленного изменения фазового состава и структуры их поверхностных слоев. В частности, широкое распространение получили методы воздействия на поверхность деталей концентрированными потоками энергии. Наиболее перспективной, энергосберегающей и экологически чистой технологией среди них является метод электролитно-плазменной обработки (ЭПО). При этом происходит изменение структуры и свойств материала в тонких поверхностных слоях вследствие физического воздействия ионов высокотемпературной плазмы и электрического разряда.

Дополнительное повышение поверхностной прочности, твердости и износостойкости деталей при ЭПО можно также достичь за счет

целенаправленного изменения химического состава поверхностного слоя путем легирования и модифицирования.

В диссертационной работе для исследований выбраны детали трехшарошечного бурового долота с действующего завода АО «Востокмашзавод». Контактная долговечность, абразивная и ударно-абразивная износостойкость деталей буровых долот из стали 18ХНЗМА-Ш на производстве АО «Востокмашзавод» удовлетворяются газовой цементацией с последующей закалкой. Недостатками такой технологии обработки деталей являются образование коробления и растрескивание деталей из низкоуглеродистых сталей, а также высокая трудоемкость и энергоемкость производства.

Анализ существующих технологий термической обработки подобных изделий из низкоуглеродистых и легированных сталей показывает что, задача разработки электролитно-плазменной обработки для деталей бурового инструмента, обеспечивающая высокие эксплуатационные характеристики, является актуальной и своевременной.

**Цель работы.** Исследование фазового состава, структуры и свойств низколегированных сталей, разработка высокоэффективной, энергосберегающей и экологически чистой технологии термоциклической электролитно-плазменной обработки деталей подшипникового узла бурового долота, обеспечивающая высокую поверхностную прочность и износостойкость, а также технологичность изготовления бурового инструмента.

**Задачи исследований:**

- исследование закономерностей формирования фазового состава и структуры поверхностных слоев низколегированных сталей в зависимости от режимов электролитно-плазменной обработки;
- исследование влияния фазового состава и структуры поверхностных слоев на механическую прочность, твердость и износостойкость деталей бурового долота из стали 18ХНЗМА-Ш;
- математическое моделирование и экспериментальное определение оптимальных режимов электролитно-плазменной обработки деталей бурового долота из низкоуглеродистых легированных сталей;
- разработать технологический процесс изготовления деталей бурового долота с электролитно-плазменным упрочнением, составить технико-экономическое обоснование эффективности внедрения нового технологического процесса в производство;
- спроектировать и изготовить установку электролитно-плазменной обработки для образцов деталей из шарошек и цапф подшипникового узла бурового долота.

**Методы исследования.** При выполнении работы применялись теоретические методы исследования, которые базируются на основных положениях теории подобия, теории химико-термической обработки и физики твердого тела, современные экспериментальные методы компьютерного анализа изображений микроструктур, растрового электронно-

микроскопического и элементного анализов, рентгеноструктурного анализа, а также методы определения механических свойств и износостойкости материалов.

**Научная новизна:**

– теоретически и экспериментально изучены закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств поверхностных слоев образцов низколегированных сталей в зависимости от режимов электролитно-плазменной обработки (ЭПО);

– микроструктура образцов сталей после ЭПО характеризуется наличием темного поверхностного слоя толщиной до 100 мкм, под темным слоем наблюдается тонкоигольчатая структура мартенситного происхождения, которая переходит в исходную пластинчатую перлитно-ферритную структуру; общая толщина упрочненного поверхностного слоя составляет 1000-1700 мкм; микротвердость упрочненной зоны с мартенситной структурой составляет 6500-7200 МПа;

– с целью определения оптимальных условий электролитно-плазменной обработки стальных изделий, реализован план полного многофакторного эксперимента; установлено, что основными факторами, определяющими качество упрочнения стали при ЭПО являются: время нагрева, время заковки и напряжение тока; установлена зависимость температуры нагрева от времени нагрева и охлаждения, а также значений напряжения тока:

$$T = 4,5xt_{\text{наг}}^2 + 4,8xU - 18xt_{\text{охл}};$$

– растровый элементный анализ поверхностного слоя показал, что в плазменном потоке при ЭПО активизируется направленный массоперенос легирующих элементов как из анода, так и из электролита; в результате перераспределения легирующих элементов в поверхностном слое образцов при электролитно-плазменном нагреве образцов происходит химическая модификация поверхностного слоя металла;

– установлено, что в плазменном слое электрического газового разряда, при протекании электрического тока из водного раствора кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  образуются заряженные ионы углерода, которые науглероживают поверхность образцов и приводит к образованию карбидных фаз;

– рентгеноструктурный анализ показал, что на дифрактограммах образцов стали 18ХНЗМА-Ш в состоянии поставки, присутствуют линии  $\alpha$  – фазы на основе Fe, линии  $\text{Cr}_{0,6}\text{Fe}_{1,4}$  – фазы, а также линии  $\text{Fe}_{2,7}\text{Mo}_{0,8}\text{Ni}_{0,1}$  – фазы; после электролитно-плазменной обработки на дифрактограммах образцов, кроме линий выше перечисленных фаз, появляются линии остаточного цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ , образование которого приводит к резкому повышению поверхностной прочности и износостойкости стали;

– установлены оптимальные режимы электролитно-плазменной обработки низкоуглеродистых сталей: нагрев детали до 930-940°C, цементация на глубину 1 мм, и заковка при 800-820 °C, отличающиеся тем, что нагрев деталей осуществляется плазмой; при этом деталь погружают в электролит на глубину 4-6 мм, подают постоянный электрический ток, после чего подвергают охлаждению в потоке электролита;

- установлены зависимости поверхностной твердости и глубины закаленного слоя от режимов электрических параметров электролитно-плазменной обработки;

- разработана высокоэффективная, энергосберегающая и экологически чистая технология электролитно-плазменной обработки стали;

- спроектирована и изготовлена опытно-лабораторная установка электролитно-плазменной обработки для образцов деталей из шарошек и цапф подшипникового узла бурового долота.

**Практическая ценность** работы заключается в создании и апробации технологии электролитно-плазменного упрочнения в технологических процессах производства бурового долота. Предлагаемая технология позволяет значительно повысить, по сравнению с существующей технологией, поверхностную прочность, твердость и износостойкость деталей подшипникового узла бурового долота.

Основными ее преимуществами являются:

- возможность упрочнения сложного профиля, внутренних поверхностей и полостей; отсутствие необходимости специальной подготовки поверхностей перед нанесением покрытий;

- электролитно-плазменная обработка обладает высокой экологической безопасностью: не требуется утилизация отходов и использование специальных очистных сооружений;

- электролитно-плазменная обработка является энергосберегающей технологией при низкой трудоемкости;

- легко поддается автоматизации, как на этапе конструирования, так и производства, что приводит к повышению качества и значительному снижению себестоимости;

- для исследования образцов на износостойкость, обработанных в различных условиях, спроектирована и изготовлена лабораторная установка для испытания на абразивную износостойкость;

- основное преимущество ЭПО - отсутствие деформаций металла; в отличие от упрочнения газовой цементацией с последующей закалкой, электролитно-плазменная обработка проводится локально, что исключает образование трещин, коробления металла, обезуглероживания поверхности.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

- закономерности фазовых превращений и структурных изменений в поверхностном слое при электролитно-плазменной обработке деталей из низколегированных сталей;

- установление механизмов повышения поверхностной твердости и износостойкости деталей бурового долота в результате легирования и модификации поверхностного слоя при электролитно-плазменной обработке; основные принципы прогнозирования параметров качества модифицированного слоя в зависимости от режимов электролитно-плазменной обработки;

- метод математического моделирования структурно-фазовых превращений, происходящих при электролитно-плазменной обработке низкоуглеродистой легированной стали 18ХНЗМА-Ш, расчет и

экспериментальное подтверждение выбора оптимальных режимов электролитно-плазменной обработки для стали деталей бурового долота, аналитическая зависимость температуры нагрева от времени нагрева и охлаждения, а также значений напряжения тока:  $T = 4,5xt_{\text{наг}}^2 + 4,8xU - 18xt_{\text{охл}}$ ;

– технология термоциклического электролитно-плазменного упрочнения низкоуглеродистой легированной стали бурового долота;

– результаты внедрения электролитно-плазменной обработки деталей бурового долота, как более энергосберегающего и экологически чистого метода химико-термической обработки, в техпроцесс изготовления деталей бурового долота, вместо газовой цементации с последующей закалкой.

**Достоверность результатов научных исследований.** Достоверность результатов теоретических исследований достигнута корректностью постановки задачи математического моделирования, обоснованным использованием аналитических зависимостей, допущений и ограничений, а также применением современных математических методов анализа и вычислительной техники. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными данными, полученными с помощью современных приборов и оборудования физического материаловедения, такими как: оптический микроскоп «Axioscop - 2MAT», растровый электронный микроскоп JSM-6390LV – фирмы JEOL (Япония), рентгеновский дифрактометр «X'Pert PRO» фирмы «PANalytical», компьютерный анализатор изображений микроструктур METAM ЛВ-31, приборы для определения механических свойств и износостойкости, а также опытно-лабораторной установки электролитно-плазменной обработки.

**Апробация практических результатов.** Диссертационная работа является составной частью госбюджетной темы №48-08 «Исследование и разработка технологий производства высокопрочных, износостойких материалов и оборудования в машиностроении». Результаты исследований приняты к внедрению в производство АО «Востокмашзавод», а также используются в учебном процессе кафедры «Машиностроение и технология конструкционных материалов» ВКГТУ им. Д. Серикбаева.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на международной научно-практической конференции «Валихановские чтения 12», том 7, (Кокшетау, 2007 г.), в материалах международной научно-практической конференции «Роль университетов в создании инновационной экономики», том II, (Усть-Каменогорск, 2008 г.), в материалах «Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии», (Россия, Красноярск, 2009 г.), на Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», (Усть-Каменогорск, 2008-2010 гг.), также на техническом совещании специалистов АО «Востокмашзавод» и кафедры «М и ТКМ» ВКГТУ им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, 2009 г.), на научно-методическом семинаре кафедры «СМ и ТМП» института машиностроения КазНТУ им. К.И. Сатпаева (Алматы, 2010 г.).

**Личный вклад.** Постановка задач, способ их решения, теоретические и экспериментальные исследования, основные научные результаты.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, а также получены 2 заключения: о выдаче инновационного патента на изобретение, и о выдаче патента на полезную модель.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов результатов, списка использованной литературы. Материалы диссертации содержат 115 страниц текста, 29 таблиц, 37 рисунка и 6 приложений. Список использованной литературы включает 105 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи исследования и научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** исследованы фазовые превращения в сплавах железа, физико-химические основы поверхностного упрочнения, также химико-термическая обработка низкоуглеродистой легированной стали. Представлен анализ типовых деталей машин и путей повышения их качественных характеристик на базе технологии электролитно-плазменной обработки (ЭПО). Выполнен обзор научно-технической и патентной литературы, посвященной влиянию различных видов химико-термической обработки, в том числе ЭПО, на качество деталей машин. Выполнен теоретический анализ физико-химических процессов, протекающих при ЭПО. На основании анализа результатов ЭПО различных деталей машин показано, что наиболее эффективным методом химико-термического упрочнения является ЭПО.

Исследованы вольт-амперные характеристики электролитно-плазменного процесса и зависимость температуры нагрева металла от режимов ЭПО. Исходя из анализа комплекса факторов, влияющих на качественные характеристики поверхностного слоя, выделяются в качестве доминирующих нижеследующие технологические факторы ЭПО: скорость нагрева, минимально необходимое напряжение, сила тока, потребляемая мощность.

**Вторая глава** посвящена описанию методик исследования фазового состава, структуры и поверхностных свойств деталей бурового долота в состоянии поставки и после ЭПО; методик подготовки образцов для проведения ЭПО; микроскопического и электронномикроскопического, рентгеновского фазового анализов, анализа химического состава; методик определения износостойкости, микротвердости и шероховатости поверхностных слоев образцов. Приведено описание устройства и принципа работы современных приборов и оборудования физического материаловедения, таких как растровый электронный микроскоп JSM-6390LV – фирмы JEOL (Япония), с приставкой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy фирмы «OXFORD Instruments», рентгеновский дифрактометр «X'Pert PRO» фирмы «PANalytical», с применением Cu-K $\alpha$  излучения.



**В третьей главе** приведена технология ЭПО деталей бурового долота из низкоуглеродистой легированной стали. Приведены основные результаты исследований фазового состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали. Для подбора оптимальных режимов электролитно-плазменной обработки реализован план полного многофакторного эксперимента. Усредненные результаты испытаний в завершающей стадии экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Варьируемые факторы при электролитно-плазменной обработке

Обозначение параметра	Физические факторы	Уровни факторов	
		минимальный	максимальный
X1	Время нагрева, с	1	10
X2	Время заковки, с	1	10
X3	Количество циклов	20	40
X4	Напряжение тока, В	180	220

В таблице 2 представлена матрица влияния технологических параметров при использовании электролита – 10% кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  разбавленной в воде, на показатели качества упрочняемой поверхности стали 18ХНЗМА-Ш. Анализ данной матрицы показывает, что практически все рассматриваемые параметры режимов ЭПО оказывают влияние на показатели качества упрочняемой поверхности стали. Но следует отметить, что основные технологические параметры, как толщина упрочнения, микротвердость, износостойкость стали зависят от времени нагрева, времени заковки, количество циклов, и напряжения тока, которые определяют температуру нагрева. Определены основные факторы, определяющие качество упрочнения стали при ЭПО: время нагрева, время заковки и напряжение тока.

Предварительно установлена зависимость температуры необходимого нагрева от времени нагрева и охлаждения, а также значений напряжения тока:

$$T = 4,5xt_{\text{наг}}^2 + 4,8xU - 18xt_{\text{охл}}, \quad (1)$$

где T- температура нагрева стали,  $t_{\text{наг}}$  – время нагрева (сек.),  $t_{\text{охл}}$  – время охлаждения в потоке электролита (сек.), U – напряжение (В).

Проведены исследования влияния ЭПО на фазовые и структурные превращения, а также на микротвердость образцов. Исследования показали что, после ЭПО микротвердость поверхности повышается. На фотографии микроструктуры поперечного разреза образца после электролитно-плазменной обработки наблюдается три зоны (рисунок 1). Микроструктура обработанной поверхности (зона I) характеризуется наличием темного слоя толщиной примерно 100 мкм, который образовался в результате фазовых превращений и структурных изменений под действием циклической высокой температуры плазмы.

Таблица 2 - Матрица влияния режимов ЭПО на показатели качества упрочняемой поверхности стали 18ХНЗМА-Ш

Электроли	Оптимальные режимы ЭПО	Показатели качества упрочнения					
		Физико-механические					
		Толщина, x100	Микротвердость, x800	Износостойкость, x100	Фазовый состав, x100	Элементарный состав, x100	Шероховатость, x100
10% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<b>Технологические</b>						
	Время нагрева, 4-8 с.						
	Время закалки, 4-8 с.						
	Количество циклов, 25-35.						
	Объем, 2000-80000 (мм <sup>3</sup> ).						
	Температура нагрева, 800-1500 °С.						
	<b>Электрические</b>						
	Напряжение, 180-220 В.						
	Сила тока, 7-10 А.						

Под темным слоем (зона II) наблюдается мелкозернистая пластинчатая структура мартенситного происхождения, которая переходит в исходную перлитно-ферритную структуру (зона III).

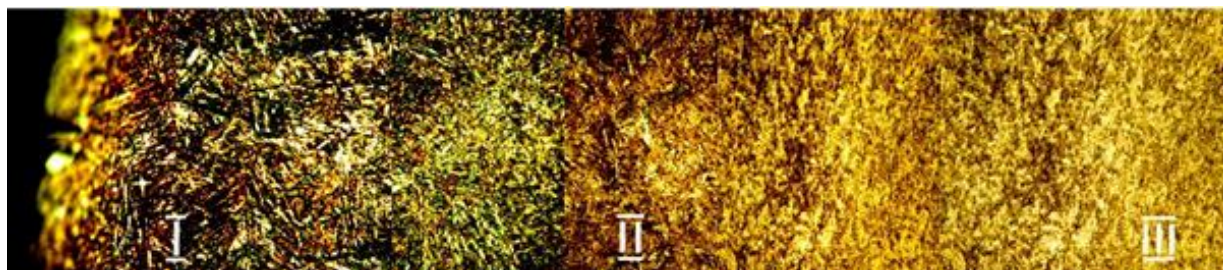


Рисунок 1 - Микроструктура поперечного разреза образца стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной обработки, ?800.

Установлено, что электролитно-плазменная обработка позволяет получить упрочненный слой толщиной 1000-1700 мкм (рисунок 2). Микротвердость на поперечном разрезе упрочненной зоны – мартенситной

структуры составила 6500-7200 МПа. Значение микротвердости электролитно-плазменно обработанного образца превышает значение микротвердости образца, обработанного на АО «Востокмашзавод», причем глубина упрочненного слоя одинаковая (рисунок 2). С увеличением расстояния от обработанной поверхности микротвердость равномерно снижается до исходного состояния и в среднем составляет 3000 МПа.

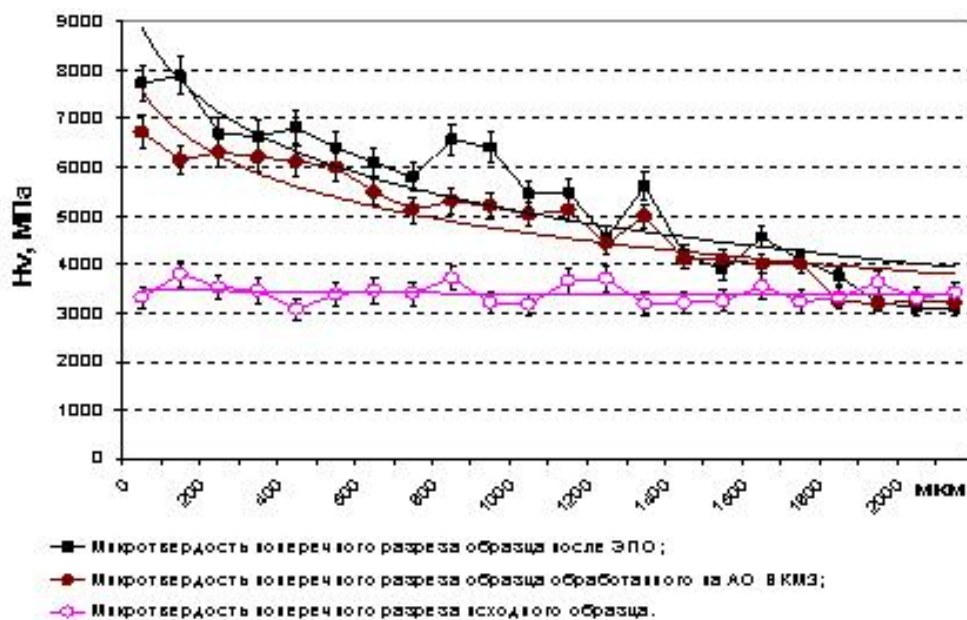


Рисунок 2 – Сравнительная оценка микротвердости стали 18ХНЗМА-Ш.

Исследовано изменение химического состава поверхностного слоя после ЭПО. Растровый элементный анализ обработанной поверхности показал (рисунок 3), что при электролитно-плазменном нагреве образца, наряду с закалкой, происходит химическая модификация поверхностного слоя стали.

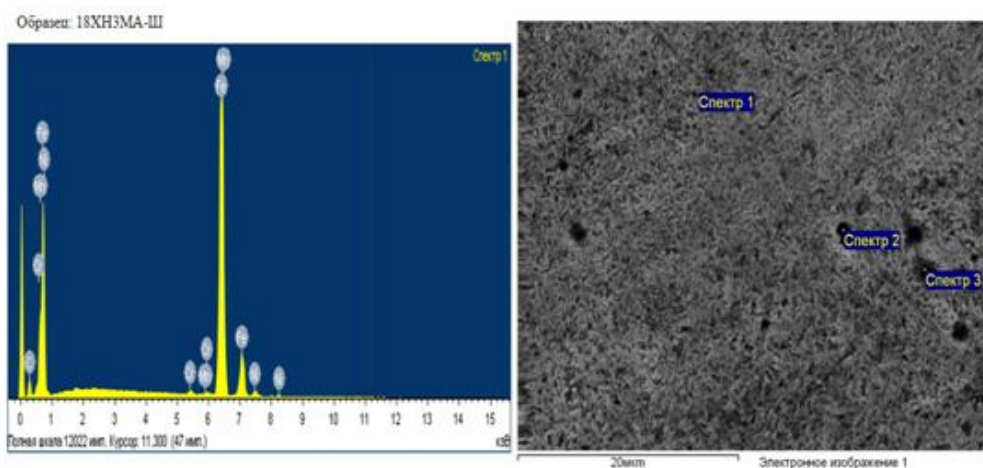


Рисунок 3 - Растровый элементный анализ стали 18ХНЗМА-Ш после ЭПО.

Увеличение содержания углерода (таблица 3), относительно исходного состояния объясняется тем, что в плазменном слое электрического газового разряда, при протекании электрического тока из водного раствора



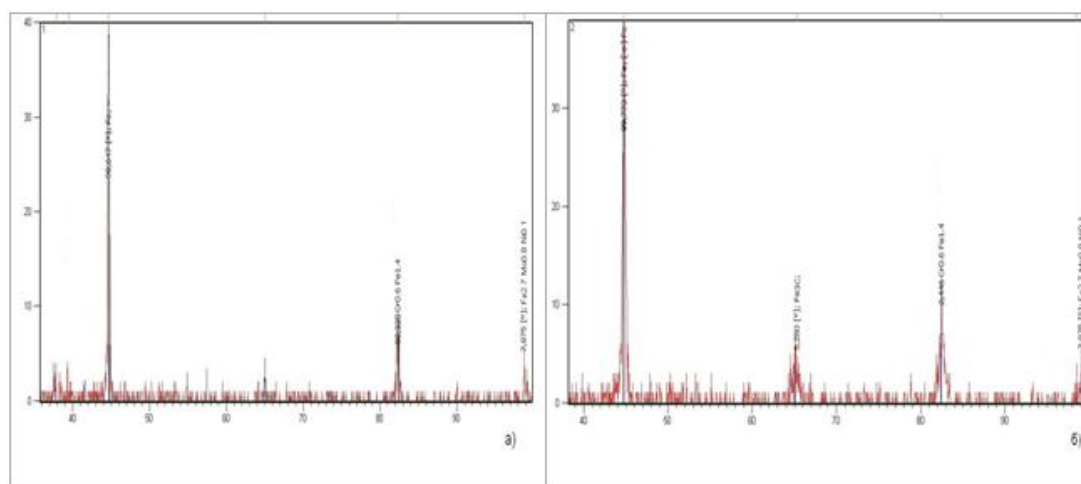
кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , образуются заряженные ионы углерода, которые науглероживают поверхность образца.

Таблица 3 – Элементный анализ стали 18ХНЗМА-Ш после ЭПО (вес.%)

Спектр	C	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Итог
Спектр 1	0,56	-	-	0,66	0,48	95,73	2,57	100,00
Спектр 2	0,69	0,38	-	0,66	-	95,75	2,52	100,00
Спектр 3	0,71	-	0,31	0,54	0,54	95,48	2,42	100,00

При ЭПО происходит также перераспределение и других легирующих элементов в поверхностном слое образца.

Рентгеноструктурный анализ образцов стали 18ХНЗМА-Ш в состоянии поставки (рисунок 4 а) и после ЭПО (рисунок 4 б) выявил наличие линий  $\alpha$  – фазы на основе Fe, линии  $\text{Cr}_{0,6}\text{Fe}_{1,4}$  – фазы, а также линии  $\text{Fe}_{2,7}\text{Mo}_{0,8}\text{Ni}_{0,1}$  – фазы. Как известно, при закалке мартенситное превращение ( $A \rightarrow M$ ) не протекает до конца, и обычно в структуре сложнолегированных сталей после закалки наряду с мартенситом присутствуют кристаллы остаточного аустенита и некоторых избыточных фаз. Фазовый состав образцов стали 18ХНЗМА-Ш приведен в таблице 4. После ЭПО на рентгенограммах закаленных образцов присутствуют линии остаточного цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\alpha$ -фазы на основе Fe линии  $\text{Cr}_{0,6}\text{Fe}_{1,4}$  – фазы и линии  $\text{Fe}_{2,7}\text{Mo}_{0,8}\text{Ni}_{0,1}$  – фазы.



а) – в исходном состоянии, б) – после ЭПО.

Рисунок 4 – Рентгеновская дифрактограмма стали 18ХНЗМА-Ш.

Результаты исследований фазового состава и структуры стали в состоянии поставки (электрошлакового переплава) и после электролитно-плазменной обработки позволяют сделать следующий вывод: рентгеноструктурный анализ образцов стали 18ХНЗМА-Ш, в состоянии поставки выявил наличие линий  $\alpha$  – фазы на основе Fe, линий  $\text{Cr}_{0,6}\text{Fe}_{1,4}$  – фазы, а также линий  $\text{Fe}_{2,7}\text{Mo}_{0,8}\text{Ni}_{0,1}$  – фазы. После электролитно-плазменной обработки в структуре стали, кроме линий выше перечисленных фаз, появляются линии остаточного цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ , который очень сильно повышает износостойкость стали.

Таблица 4 - Фазовый состав образцов стали 18ХНЗМА-Ш

Вид обработки	Фазовый состав	2Theta [deg]	d [Å]	h	k	l	I [%]	
ОПЭ	Исходная	$\alpha$ – фаза	44,6770	2,02670	1	1	0	100
			65,0280	1,43310	2	0	0	11,5
			82,3440	1,17010	2	1	1	17,4
		$Cr_{0,6}Fe_{1,4}$	63,8452	1,45673	3	0	2	17,0
			67,0481	1,39471	2	0	5	13,0
			61,7392	1,50127	2	1	3	21,0
		$Fe_{2,7}Mo_{0,8}Ni_{0,1}$	96,9814	1,02862	4	0	0	6,00
			98,1489	1,01948	4	0	1	1,00
			99,4724	1,00944	2	2	4	20,0
	$Fe_3C$ ;	44,7500	2,02350	1	1	0	10,8	
		65,1078	1,43150	2	0	0	10,0	
		82,4440	1,16890	2	1	1	37,0	
		99,0643	1,01250	2	2	0	14,0	

Для исследования образцов на абразивную износостойкость, обработанных в различных условиях, спроектирована и изготовлена лабораторная установка.

Износостойкость образцов оценивали по потере массы в единицу времени, в результате истирания испытуемого образца на диск с абразивом, при трении скольжения без смазочного материала (рисунок 5). Сущность испытания на абразивную износостойкость заключается в следующем: испытуемый образец 4, закреплен на шток 3, опирающийся на пружину 2 к корпусу установки 5 в станине 1. Испытуемый образец 4 вращаясь, истирается об абразивную среду испытания 6 в течение определенного промежутка времени при сжатии пружины 2 с усилием  $P=15$  Н. Далее испытуемый образец меняется, испытание повторяется и результаты сравниваются. Привод вращения 7 устанавливается на шпиндель вертикально сверлильного станка. Испытания образцов проводили при фиксированной подаче. Для измерения массы образцов использовались весы электронные ВЛ-120 с точностью до 0,1 мг. Лучшей износостойкостью обладает образец после электролитно-плазменной обработки и, как видно из таблицы 5, повышается сопротивление стали абразивному истиранию.

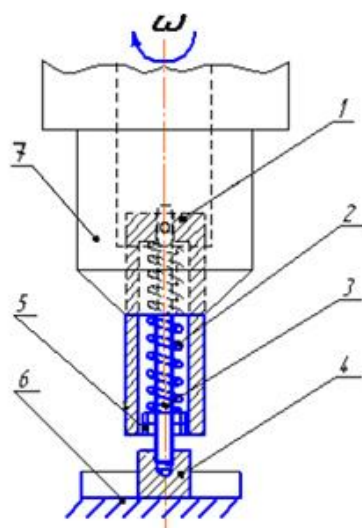


Рисунок 5 – Схема лабораторной установки для испытания на износостойкость.  
 1– станина, 2 – пружина сжатия, 3 – шток, 4– испытуемый образец,  
 5 – корпус установки, 6 – абразивная среда, 7 – привод вращения.

Абразивная износостойкость образцов стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной обработки, превышает износостойкость аналогичного образца, обработанного на АО «Востокмашзавод», не менее чем в два раза.

Таблица 5 - Значение износостойкости образцов стали 18ХНЗМА-Ш

Сталь	Вид обработки	Hv, МПа	Износостойкость, mg/час
18ХНЗМА-Ш	ЭПО	6817	54,4
	Газовая цементация с последующей закалкой	6298	100,4
	В состоянии поставки	3271	150,0

В отличие от упрочнения цементацией с последующей закалкой, электролитно-плазменная обработка проводится локально, что исключает образование трещин, коробления металла, обезуглероживания поверхности.

**Четвертая глава** работы посвящена внедрению нового технологического процесса поверхностного упрочнения деталей бурового долота на АО «Востокмашзавод». Проанализирована конструкция и технические требования бурового долота. Вместо существующей на заводе технологии газовой цементации с последующей закалкой деталей бурового долота, предложен более энергосберегающий и экологически чистый метод упрочнения электролитно-плазменной обработки.

Составлено технико-экономическое обоснование эффективности внедрения электролитно-плазменной обработки для упрочнения деталей бурового долота. Определено оборудование основного и вспомогательного производства с учетом особенностей производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически и экспериментально изучено влияние электролитно-плазменной обработки на фазовые превращения и структурные изменения, а также на свойства низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Микроструктура обработанной поверхности образцов сталей характеризуется наличием темного поверхностного слоя толщиной до 100 мкм. Под темным слоем наблюдается тонкоигольчатая структура мартенситного происхождения, которая переходит в исходную перлитно-ферритную структуру. Общая толщина упрочненного поверхностного слоя составляет 1000-1700 мкм. Микротвердость упрочненной зоны с мартенситной структурой составляет 6500-7200 МПа.

2. Установлено, что в плазменном слое электрического газового разряда, при протекании электрического тока из водного раствора кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  образуются ионы углерода, которые науглероживают поверхность образцов и приводит к образованию карбидных фаз.

3. На рентгенограммах образцов стали 18ХНЗМА-Ш в состоянии поставки присутствуют линии  $\alpha$  – фазы на основе Fe,  $\text{Cr}_{0,6}$  Fe<sub>1,4</sub>– фазы и Fe<sub>2,7</sub> Mo<sub>0,8</sub> Ni<sub>0,1</sub> – фазы. После электролитно-плазменной обработки в структуре стали, кроме линий выше перечисленных фаз, появляются линии остаточного цементита Fe<sub>3</sub>C, который сильно повышает поверхностную прочность и износостойкость стали;

4. Основными факторами, влияющими на качество поверхностного слоя сталей при ЭПО, являются: время нагрева, время закалки и напряжение тока; установлена зависимость температуры нагрева от времени нагрева и охлаждения, а также значений напряжения тока:  $T = 4,5xt_{\text{наг.}}^2 + 4,8xU - 18xt_{\text{охл.}}$

5. Установлены зависимости поверхностной твердости и глубины закаленного слоя от режимов электролитно-плазменной обработки; После электролитно-плазменной обработки стали 18ХНЗМА-Ш повышается твердость более 2-х раз относительно исходного состояния; абразивная износостойкость образцов, превышает износостойкость образцов, обработанных по технологии АО «Востокмашзавод», не менее чем в два раза.

6. Разработана высокоэффективная, энергосберегающая и экологически чистая технология электролитно-плазменной обработки стали.

7. Спроектирована и изготовлена опытно-лабораторная установка ЭПО для образцов деталей подшипникового узла бурового долота, получен инновационный патент на изобретение. Разработан технологический процесс изготовления и технико-экономическое обоснование внедрения энергосберегающего и экологически чистого метода ЭПО в производство, повышающего поверхностную прочность и износостойкость деталей долота.

**Оценка полноты решения поставленных задач.** В результате проведенных исследований достигнута цель и решены научно-практические задачи, поставленные в диссертационной работе: на основе исследований закономерностей изменения фазового состава, структуры и свойств низколегированных сталей, разработана научно обоснованная, высокоэффективная, энергосберегающая и экологически чистая технология электролитно-плазменной обработки деталей из стали 18ХНЗМА-Ш.

Спроектирована и изготовлена установка для электролитно-плазменной обработки, проведены опытно-лабораторные испытания. Результаты испытаний свидетельствуют, что при ЭПО повышаются поверхностная прочность и износостойкость деталей бурового долота, снижаются себестоимость и энергоемкость, повышается экологическая безопасность.

**Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов.** Полученные в диссертации теоретические и экспериментальные результаты имеют практическое значение для разработки новых технологий поверхностного упрочнения деталей горно-шахтного оборудования из различных марок стали. Разработанные меры по повышению качества поверхностных слоев заготовок и оптимизации режимов обработки, а также предлагаемую технологию электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота рекомендуется использовать на АО «Востокмашзавод» и других металлургических заводах Республики Казахстан.

**Оценка технико-экономического уровня выполняемой работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.** Предлагаемая технология электролитно-плазменного поверхностного упрочнения деталей бурового долота разработана на уровне инновационного проекта. Ожидаемый экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии на действующем производстве составит 103,39514 млн. тенге на годовую программу 25 000 штук.

**Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.** Впервые глубоко изучены закономерности изменения фазового состава и структуры поверхностного слоя низколегированной стали бурового долота в зависимости от режимов ЭПО. Получены аналитические зависимости между основными технологическими параметрами процесса обработки и предложена высокоэффективная технология электролитно-плазменного упрочнения. Научно обоснованные теоретические положения могут быть использованы для совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов.

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации:**

1 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Исследование структуры и свойств поверхности стали после электролитно-плазменной обработки. //Международная научно-практическая конференция «Валихановские чтения 12», том 7. Кокшетау, 2007. С. 286-289.

2 Комбаев К.К., Турганбаев А.А. Инновационные направления в области упрочнения детали машин. //VIII Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 50-летию ВКГТУ им. Д. Серикбаева «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», часть III, 2008., С. 223-224.

3 Комбаев К.К., Семейхан Д. Электролитно-плазменная обработка стали 18ХНЗМА-Ш бурового долота. //IX Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых.



«Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», часть II, 2009., С 196-198.

4 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Методы поверхностного упрочнения чугуна на основе электролитно-плазменной обработки. //Вестник, №3, ВКГТУ им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, 2008., С. 46 - 49.

5 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Инновационные направления обработки стали для ремонтных предприятия. // Роль университетов в создании инновационной экономики. Международная научно-практическая конференция. Том II, Усть-Каменогорск, 2008. С. 520-522.

6 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Методы поверхностного упрочнения деталей на основе электролитно-плазменной обработки. //Вестник, №4, ВКГТУ им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, 2008., С.59 – 61.

7 Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение «Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота»./ Кылышканов М.К., Комбаев К.К., Погребняк А.Д./ МПК C21D1/78 (2009.01), C21D 1/34 (2009.01).

8 Комбаев К.К., Кылышканов М.К., Лопухов Ю.И. Исследование свойств модификации поверхности после электролитно-плазменной обработки стали 18ХНЗМА-Ш. Вестник, №2(32), //Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Алматы, 2009., С. 142-146.

9 Комбаев К.К., Кылышканов М.К., Лопухов Ю.И. Влияние электролитно-плазменной обработки стали 18ХНЗМА-Ш на поверхностную микроструктуру и твердость. //Журнал Сибирского федерального университета, серия «Техника и технологии», №2 (4), Красноярск, 2009., Россия. С. 394 – 399.

10 Комбаев К.К., Кылышканов М.К. Влияние режимов электролитно-плазменной закалки на структуру и свойства стали бурового долота. //Труды Университета, №2, КарГТУ, Караганда, 2009., С. 16 – 18.

11 Комбаев К.К., Кылышканов М.К., Скаков М.К. Исследование влияния электролитно-плазменной обработки на структуру и износостойкость стали бурового инструмента. //Вестник, №1(77) КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 2010., С. 105-111.

12 Заключение о выдаче патента на полезную модель «Стенд для испытания материалов на трение и износ»./ Комбаев К.К., Скаков М.К., Путренко Н.Ф./ МПК G01N 3/56 (2009.01).

13 Комбаев К.К., Елеукинов Д.Т. Влияние электролитно-плазменной обработки на абразивную износостойкость. // X Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, 2010. часть II. С. 77-78.

14 Комбаев К.К. Влияние электролитно-плазменной обработки на микроструктуру и твердость. //X Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, 2010., часть II. С. 123-124.

15 Комбаев К.К., Смагулов Д.У., Кылышканов М.К. Структурно-фазовые превращения в стали 18ХНЗМА-Ш при электролитно-плазменной обработке. //Вестник, №3(79), КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 2010., С. 199-206.

## **Комбаев Қуат Қорғанұлы**

«Бұрғы құралының бөлшектерін электролитті-плазмалық өңдеу технологиясын жасау» тақырыбына орындалған,

05.03.01 – Механикалық және физика-техникалық өңдеу әдістерінің технологиялары мен құрал-жабдықтары мамандығы бойынша техника ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін қорғалатын диссертацияның авторефератына

### **ТҮЙІНДЕМЕ**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертация аз легірленген болаттан жасалған бұрғы қашаудың мойынтірек өзектері бөлшектерінің термоциклді электролитті-плазмалық өңдеу технологиясын жасауға арналған.

Теориялық және қазіргі заманғы тәжірибелік әдістерді металлографиялық, растрлі электронды-микроскопиялық және рентгендікұрылымдық талдау сонымен бірге болаттың механикалық қасиеттерін, қажалуға төзімділігін зерттеу әдістерін қолдана отырып, жоғарғы температуралы плазманың иондарының физикалық әсер етуі мен циклді электролитті-плазмалық өңдеу (ЭПӨ) кезінде электр разрядының әсерінен болаттың жұқа беттік қабатының қасиеттерінің және құрылымының өзгергені анықталды. ЭПӨ кезінде беттік қабатты арнайы легіренуге және модификациялануға болатыны көрсетілген.

Бөлшектерді электролитті-плазмалық өңдеудің тиімді режимдері анықталды. Бұрғы қашаудың мойынтірек өзектері бөлшектерін, шығынын аз талап ететін және экологиялық таза электролитті-плазмалық өңдеу технологиясын өндіріске енгізу ұсынылған.

18ХНЗМА-Ш болатынан жасалған бұрғы қашаудың бөлшектерін электролитті-плазмалық беріктенуі үшін тәжірибелі-зертханалық қондырғы жобаланды және жасалынып шығарылды. «Востокмашзавод» АҚ өндірісіне жаңа технологиялық процесін өндіріске енгізу тиімділігі техникалық-экономикалық тұрғыдан негізделген.

**Жұмыстың мақсаты.** Аз легірленген болаттың фазалық құрамын, қасиеттері мен құрылысын зерттеу, бұрғы қашаудың мойынтірек өзектері бөлшектерінің беттік беріктігін және қажалуға төзімділігі арттыру үшін тиімділігі жоғары, электр энергия шығыны аз және экологиялық таза электролитті-плазмалық өңдеу технологиясын жасау.

#### **Жұмыстың негізгі нәтижелері.**

– теория және тәжірибе жүзінде ЭПӨ режимдеріне байланысты көміртекті және аз легірленген болаттардың беттік қабаты үлгілерінің фазалық құрамы, құрылымы мен қасиеттері өзгерістерінің заңдылықтары зерттелді;

– аз легірленген болаттың электролитті-плазмалық өңдеудегі қолайлы режимдері белгіленді;

– болатты электролитті-плазмалық өңдеудің жоғары тиімділігі, энергия шығынын аз талап ететін, экологиялық таза технологиясы жасалынды;

– бұрғы қашаудың бөлшектерінің мойынтірек өзектерінің айналмалы бұрғылардан және тіреуіштен жасалған бөлшектері үшін лабораториялық электролитті-плазмалық өңдеу қондырғы жобаланды және жасап шығарылды.

**Қойылған мақсаттардың толық шешілуінің бағалануы.** Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алға қойылған мақсат орындалды. Көміртекті және аз легіріленген болаттың қасиеттері мен құрылымын зерттеу негізінде ғылыми-тәжірибелік мәселелер толық шешілген. 18ХНЗМА-Ш болатынан жасалған бөлшектердің электролитті-плазмалық өңдеу әдісінің ғылыми дәлелденген, тиімділігі жоғары, энергияны үнемдейтін және экологиялық таза технологиясы жасалынды.

Электролитті-плазмалық өңдеу қондырғысы жобаланып және жасалынып шығарылды. Қондырғыда тәжірибелік сынақтар жүргізілді. Сынақтар нәтижесі ЭПӨ кезінде бұрғы қашаудың бөлшектерінің беттік беріктігі мен қажалуға төзімділігінің артқанын, өзіндік құны мен энергия шығынының азайғанын, экологиялық қауіпсіз болғанын көрсетеді.

**Алынған нәтижелерді пайдалану үшін, бастапқы мәліметтерді және ұсыныстарды жасау.** Диссертацияда алынған теориялық және тәжірибелік нәтижелері болаттың әр түрлі маркаларынан жасалған тау-кен құрал-жабдықтарының бөлшектерін беттік беріктендіру жаңа технологиясын жасау үшін маңызды болып табылады. Дайындамалардың сапасын жақсартудағы және өңдеу кезіндегі режимдерді қолайлы ету үшін жүргізілген жұмыстарды, сонымен қатар бұрғы қашаудың бөлшектерінің электролитті-плазмалық беріктендіру технологиясын «Востокмашзавод» АҚ және Қазақстан Республикасының басқа да металлургиялық зауыттарында пайдалануға болады.

**Ұсынылып отырған жұмыстың технико-экономикалық деңгейін осы саладағы үздік жетістіктермен салыстыра отырып бағалау.** Ұсынылып отырған бұрғы бөлшектерін беттік беріктендіру электролитті-плазмалық технологиясы инновациялық жоба деңгейінде жасалынды. Технологияны өндіріске енгізу мақсатында жоспарланған экономикалық есеп бойынша 25 000 дана бағдарламасына 103,39514 млн. тенге пайда түсіреді.

**Ұсынылып отырған жұмыстың ғылыми деңгейін осы саладағы үздік жетістіктермен салыстыра отырып бағалау.** Алғашқы рет аз легіріленген болаттың беттік қабаттарын электролитті-плазмалық өңдеу режимдері, оның фазалық құрамы мен қасиеттерінің өзгеру заңдылықтары терең зерттелді. Өңдеу процесінің негізгі технологиялық параметрлерінің арасындағы аналитикалық тәуелділіктер анықталды. Электролитті-плазмалық беріктендірудің жоғары тиімді технологиясы ұсынылды. Ғылыми негізделген теориялық нәтижелерді ғылымды одан әрі дамытуға және жаңа технологиялық процестерді жасауға қолдануға болады.

## Kombaev Kuat Kurganovich

### Development of electrolytic-plasma processing technology of boring tool's details

#### Specialty 05.03.01 - Technologies and equipment of mechanical and physic technical processing

#### SUMMARY

Modification of machines surfaces details by method electrolytic-plasma processing (EPP) promotes structure change of superficial layer, allows increase of strengthening properties and wear resistance. Also EPP details easily gives in automation as at designing stage, and production that results in improvement of quality and significant decrease of the cost price.

The basic advantages of EPP method are: an opportunity of hardening of a complex structure, internal surfaces and cavities; absence of necessity of special preparation of surfaces before drawing of coverings; ecological safety (it is not required uses of special clearing constructions). In conformity with above-stated, the target of development of electrolytic-plasma processing for details of boring machine, providing high operational characteristics, is actual and dully.

**The purpose of work** is development of thermo cyclic electrolytic-plasma processing technology for hardening worn surfaces of bearing unit of drill bit details, raising wear resistance, durability and adaptability to production of boring machine.

**The research methods.** Theoretical and experimental methods of research were applied at performance of work. Theoretical methods of research are based on substantive provisions of the theory of similarity, the theory of chemical-thermal processing and physics of solid body.

#### **Scientific novelty:**

– Installation of electrolytic-plasma processing for samples of details from roller cone and pins of bearing unit of drill bit is designed and made.

– The idea of the author's invention is used: the way of hardening low-carbon steels, including heating of detail up to 930-940 °C, cementation on depth of 1 mm, and training at 800-820 °C, *distinguished* by having heated carry out details plasma, thus detail is immersed in electrolyte on depth of 4-6 mm, submit a constant electric current then subject to cooling in a stream of electrolyte.

– On the basis of researches analysis it is revealed dependence of superficial hardness, depth of the tempered layer on modes of electric parameters of processing. It is established optimum modes of electrolytic-plasma processing.

– Influence EPP on structural - phase transformations hardened steel, also on increase of hardness and wear resistance of steel of boring machine is revealed. Results research testify to increase of wear resistance of steel concerning an initial condition and joint-stock companies " Vostokmashzavod " strengthened on working manufacture.

**Practical value** of work consists in creation and approbation of electrolytic - plasma hardening in technological processes of manufacture of drill bit. The

technology developed by us allows to increase wear resistance подшипникового unit of a detail of drill bit, has high ecological parameters (it is not required to recycling waste products), and also is энергосберегающим a method at low lab our input and easily gives in to automation.

**The basic scientific positions which are born {are taken out} on protection:**

– Technology thermo cyclic electrolytic-plasma hardening low-carbon alloyed steel of drill bit.

– Phase transformation, at electrolytic-plasma processing, with the strengthened microstructure, updating of superficial layer, and also increase of superficial hardness, and wear resistance of details of drill bit.

– Experimental confirmation of calculations of mathematical modeling choice of optimum modes of electrolytic-plasma processing for steel detail of drill bit.

– Introduction of electrolytic-plasma processing as more energy saving and a non-polluting method, in technical process manufacturing of details of drill bit, namely on operation of thermal processing, instead of gas cementation with the subsequent training.

**Realization of work results.** The dissertation is a component of a state budgetary theme №48-08 «Research and development of "know-how" of high-strength, wear proof materials and the equipment in машиностроений». Besides results of researches are preliminary introduced into manufacture of joint-stock company "Vostokmashzavod", Ust-Kamenogorsk, and in educational process of faculty «Mechanical engineering and technology of constructional materials» EKSTU in honor of D.Serikbaev.

**Estimation of completeness of the decision of tasks in view.** As a result of lead research installation has been designed and made, experimental hardenings by electrolytic-plasma processing are carried out, structural - phase transformations strengthening steel of drill bit are investigated.

Results of researches testify to achievement of the object - increase of superficial durability and wear resistance of details of drill bit, decrease of the cost price, power consumption and ecological safety.

**Development of recommendations and the initial data on concrete use of results.** The results of hardening of detail of drill bit submitted in the dissertation can be used by manufacture of boring machine. The initial data for the decision of tasks in view is the geometrical configuration, physic mechanical and structurally technical characteristics at steel of details of drill bit known mark.

**Scientific level estimation of the executed work in comparison with the best achievements in the given area.** Validity of scientific position, stated in the dissertation, is provided with the deep analysis before the executed experimental - theoretical works, correct statement of decided targets, strict enough analytical calculations, uses of fundamental - classical preconditions thermo cyclic hardenings, and also application of modern computing methods.